

KONVERSI ANOMALI GAYABERAT AKIBAT PERUBAHAN SISTEM REFERENSI GEODESI

Oleh :
Ir. Sumaryo*)

Intisari

Perubahan sistem referensi geodesi berarti juga merubah rumus gayaberat normal, dan perubahan rumus gayaberat normal berarti akan merubah nilai anomali gayaberat. Untuk mengetahui perubahan nilai anomali gayaberat dapat ditentukan dengan mencari nilai konversi rumus gayaberat normal dari sistem lama ke rumus gayaberat normal sistem baru.

Penelitian terhadap perubahan 3 rumus gayaberat tahun 1930 ke tahun 1967, tahun 1930 ke 1980 dan tahun 1967 ke tahun 1980, menunjukkan bahwa besarnya nilai konversi harus diperhitungkan bila akan melakukan konversi dari data anomali dengan sistem lama menjadi data anomali pada sistem baru.

Pendahuluan

Anomali gayaberat (Δg) didefinisikan sebagai perbedaan nilai gayaberat ukuran di permukaan bumi (g) dengan nilai gaya berat teoritis (θ) pada ellipsoid referensi, (Pick, M., dkk., 1973). Dalam bentuk persamaan dapat ditulis :

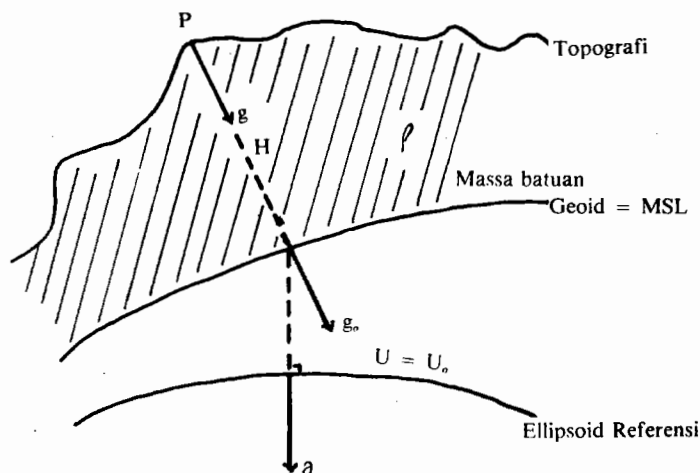
$$\Delta g = g - \theta \dots \dots \dots (1)$$

Dalam kenyataannya, nilai gayaberat ukuran g tidak dapat langsung dikurangi dengan nilai gayaberat teoritis, karena nilai gayaberat ukuran dipengaruhi oleh massa batuan di bawah titik pengamatan. Pengaruh ini tidak dapat segera langsung dideteksi dari pengamatan. Untuk itu gayaberat ukuran perlu direduksi ke geoid-geoid secara praktis identik dengan permukaan air laut rata-rata). Sehingga persamaan (1) menjadi :

$$\Delta g = g_o - \theta \dots \dots \dots (2)$$

Dalam hal ini g_o adalah nilai gayaberat pada geoid yang merupakan hasil reduksi gayaberat ukuran di permukaan bumi, lihat gambar 1.

Meredusir nilai gayaberat ukuran ke bidang geoid, memerlukan informasi tentang massa batuan yang terletak antara titik pengamatan dan geoid. Informasi tersebut meliputi : rapat massa batuan ρ (density) dan ketinggian H . Tergantung



Gambar 1. Reduksi gayaberat ukuran menjadi gaya berat di geoid.

memperlakukan massa tersebut, dikenal 3 jenis reduksi yang paling luas pemakaiannya yaitu : reduksi free-Air, reduksi Bouguer, dan reduksi Isostasi, sehingga atas dasar persamaan (2) dikenal adanya anomali Free-Air, anomali Bouguer dan anomali Isostasi.

Dari persamaan (1) dan (2) terlihat bahwa kalau nilai gayaberat teoritis berubah, maka nilai anomali gayaberat juga akan berubah. Besarnya nilai gayaberat teoritis tergantung rumus gayaberat normal

*) Staf Pengajar pada Jurusan Teknik Geodesi FT-UGM.

pada sistem referensi geodesi yang dipakai; sehingga bila sistem referensi geodesi berubah, maka akan terjadi perubahan nilai anomali gayaberat.

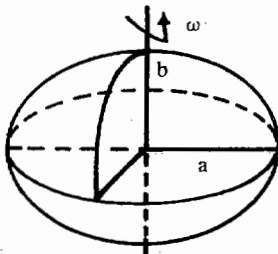
Pada makalah ini dikemukakan konversi anomali gayaberat akibat perubahan 3 sistem referensi geodesi yaitu dari sistem referensi geodesi internasional tahun 1930 ke sistem referensi tahun 1967, perubahan sistem referensi tahun 1930 ke sistem referensi tahun 1980 dan perubahan sistem referensi tahun 1986 ke sistem referensi tahun 1980. Pemilihan 3 macam perubahan tersebut didasarkan atas pertimbangan :

1. Survei gayaberat di Indonesia sampai tahun 1975 menggunakan referensi gayaberat normal tahun 1930.
2. Sejak tahun 1975 oleh BAKOSURTANAL (Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional) ditetapkan menggunakan sistem referensi geodesi GRS. 1967.
3. Pada perkembangan internasional sepuluh tahun terakhir sudah mulai diterapkan pemakaian sistem referensi geodesi yang lebih baru yaitu GRS. 1980 untuk menggantikan GRS. 1967 (Resolusi No. 7 International Union of Geodesy and Geophysics tahun 1979).

Sistem Referensi Geodesi, Rumus Gayaberat Normal dan Datum Gayaberat

Sistem referensi geodesi

Sistem referensi geodesi adalah suatu model bumi normal (teoritis). Dalam model ini bumi dibayangkan mempunyai figur matematis yang sederhana dan massa yang homogen. Model tersebut adalah suatu ellipsoid (lihat gambar 2).



Gambar 2. Ellipsoid sebagai model bumi normal (teoritis)

a = setengah sumbu panjang
 b = setengah sumbu pendek
 f = penggepengan = $\frac{a-b}{a}$

Ellipsoid referensi ini akan mewakili figur bumi (geoid) secara absolut bila :

1. Potensial gaya berat dipermukaan ellipsoid sama dengan potensial gaya berat geoid.
2. Massa ellipsoid sama dengan massa geoid.
3. Pusat ellipsoid berimpit dengan pusat gaya berat.

Karena model bumi teoritis (normal) ini sedapat-dapatnya harus mewakili bumi sepenuhnya maka pendefinisian sistem referensi geodesi harus menyangkut konstante geometris seperti misalnya (a) dan (b), konstante fisis seperti misalnya konstante gravitasi geosentrik (GM), faktor dinamis bumi (J_2), kecepatan sudut perputaran bumi (ω) dan rumus gayaberat normal (teoritis). Penelitian untuk menentukan sistem referensi geodesi yang paling sesuai terus berkembang dan penetapan sistem referensi dilakukan melalui suatu konvensi internasional. Karena itu ada kecenderungan sistem referensi geodesi akan selalu berubah menuju ke suatu sistem yang dianggap paling sesuai.

Rumus gayaberat normal

Rumus gayaberat normal pada suatu sistem referensi geodesi pada prinsipnya diperoleh dari teori potensial pada permukaan ellipsoid. Pada suatu ellipsoid yang berrotasi akan terjadi suatu ekuipotensial permukaan ellipsoid $U = U_0 = \text{konstan}$, sehingga gayaberat normal dipermukaan ellipsoid $\partial = \text{grad } U$ menurut Somigliana (1928) adalah :

$$\partial = \frac{a \partial_E \cos^2 \Phi + b \partial_P \sin^2 \Phi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \Phi + b^2 \sin^2 \Phi}} \quad (3)$$

∂_E dan ∂_P masing-masing adalah gayaberat normal di ekuator dan di kutub dan Φ adalah lintang tempat. Untuk hitungan lebih lanjut persamaan (3) dirubah menjadi bentuk :

$$\partial_{\partial_E} = \frac{1 + (f' - f - ff') \sin^2 \Phi}{\sqrt{1 - (f^2 - 2f) \sin^2 \Phi}} \quad (4)$$

Bila persamaan (4) dikembangkan menggunakan deret dengan mengabaikan suku yang berderajat tinggi diperoleh :

$$\partial = \partial_E (1 + A \sin^2 \Phi + B \sin^2 2\Phi) \dots \quad (5)$$

dalam hal ini :

$$f = \frac{\partial_P - \partial_E}{\partial_E} \approx A$$

$$B = f (f - f^*)/4$$

Rumus (5) adalah rumus gayaberat normal secara umum. Perubahan ellipsoid referensi berarti merubah harga A, B dan ∂_E sehingga merubah bentuk rumus gayaberat normal.

Sistem referensi geodesi internasional 1930

Sistem ini diadopsi pada suatu sidang umum IAG (International Association of Geodesy) pada tahun 1930 di Stockholm, Swedia. Rumus gayaberat normal pada sistem ini mempunyai bentuk seperti berikut (Nettleton, 1976) :

$$\partial_{1930} = 978,0490 (1 + 0,052884 \sin^2 \Phi - 0,0000059 \sin^2 2\Phi) \text{ gal} \dots\dots\dots (6)$$

dengan :

$$a = 6\,278\,388 \text{ meter}$$

$$f = 1/297$$

Sistem referensi geodesi 1967

Sistem ini diadopsi pada saat sidang IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) ke XIV di Luncerna tahun 1967.

Bentuk rumus gayaberat normal pada sistem ini adalah :

$$\partial_{1967} = 978,03165 (1 + 0,005278895 \sin^2 \Phi + 0,000023462 \sin^4 \Phi) \text{ gal} \dots\dots\dots (7)$$

Untuk :

$$a = 6\,378\,160 \text{ meter}$$

$$f = 1/298,247$$

Sistem referensi geodesi 1980

Sistem ini diadopsi pada bulan Desember 1979 pada saat sidang umum IUGG ke XVII di Canberra, Australia. Rumus gayaberat normal pada sistem ini adalah (Moritz, H., 1980) :

$$\partial_{1980} = 978,032 (1 + 0,0053024 \sin^2 \Phi - 0,0000058 \sin^2 2\Phi) \text{ gal} \dots\dots\dots (8)$$

dengan :

$$a = 6\,378\,137 \text{ meter}$$

$$f = 1/296,257\,222\,101$$

Datum gayaberat

Hasil pengukuran gayaberat relatif perlu diikatkan kepada titik datum gayaberat untuk mendapatkan nilai absolut di seluruh daerah yang disurvei. Nilai gayaberat absolut yang dipakai sebagai acuan diseluruh dunia adalah nilai Potsdam datum yang mempunyai nilai 981,274 gal. Pengukuran gayaberat absolut Potsdam ternyata menunjukkan kesalahan antara + 12 mgal sampai + 16 mgal sehingga sistem ini diganti dengan IGSN—71 (International Gravity Standardization Net 1971). Konsep IGSN—71 berbeda dengan sistem referensi gayaberat terdahulu, yaitu datum ditetapkan tidak dengan menetapkan nilai gayaberat pada satu stasiun, tetapi dari nilai-nilai gaya berat sebanyak 1997 stasiun yang diperoleh dengan perataan kuadrat terkecil dari data gayaberat absolut, pendulum, dan gravimeter. Atas dasar itu nilai mutlak Potsdam 981,274 gal berubah menjadi 981,260 gal, sehingga berdasar resolusi no. 16 IUGG tahun 1971 nilai gaya berat di mana saja berkurang dengan 14,0 mgal bila digunakan datum Potsdam yang baru (Rais, J., 1978).

Nilai Konversi Anomali Gayaberat

Pada dasarnya sistem referensi geodesi memang akan terus berubah, karena studi tentang bentuk dan besar bumi akan selalu mengalami perkembangan dalam rangka mencari figur bumi normal yang ideal. Karena itu rumus gaya berat normal juga akan ikut berubah. Perubahan rumus gayaberat normal tidak akan mempengaruhi data ukuran yang sudah dilakukan, tetapi hanya akan mempengaruhi nilai anomali gayaberat. Untuk itu bila dikehendaki data anomali gayaberat pada suatu daerah dengan sistem referensi baru dari data anomali gayaberat dengan sistem referensi lama, tinggal menambahkan nilai konvensinya. Besar nilai konvensi dari anomali gayaberat lama (Δg_L) ke anomali gayaberat baru (Δg_B) dapat dicari seperti berikut :

$$\begin{aligned} \Delta g_B &= g_0 - \partial_B \\ \Delta g_L &= g_0 - \partial_L \\ C &= (\Delta g_B - \Delta g_L) = -(\partial_B - \partial_L) \dots\dots (9) \end{aligned}$$

Untuk konversi antar 3 sistem referensi geodesi : tahun 1930 ke tahun 1967, tahun 1930 ke tahun 1980 dan tahun 1967 ke tahun 1980 dihitung dengan cara seperti persamaan (9). Bila tetap mengambil nilai Potsdam lama sebagai acuan, maka hasilnya adalah seperti berikut :

$$1. C1 = \theta 1967 - \theta 1930 (17,15 - 13,695 \sin^2 \Phi + 0,135 \sin^4 \Phi) \text{ mgal} \dots\dots\dots (10)$$

$$2. C2 = \theta 1980 - \theta 1930 (16,3 - 13,998 \sin^2 \Phi + 0,392 \sin^4 \Phi) \text{ mgal} \dots\dots\dots (11)$$

$$3. C3 = \theta 1980 - \theta 1967 -(0,85 + 0,303 \sin^2 \Phi - 0,256 \sin^4 \Phi) \text{ mgal} \dots\dots\dots (12)$$

Kalau mengambil acuan nilai Potsdam baru, maka rumus konversinya adalah :

$$4. C1 = (3,15 - 13,695 \sin^2 \Phi + 0,135 \sin^4 \Phi) \text{ mgal} . \quad (13)$$

$$5. C2 = (2,3 - 13,998 \sin^2 \Phi + 0,392 \sin^4 \Phi) \text{ mgal} . \quad (14)$$

$$6. C3 = -(-13,15 + 0,303 \sin^2 \Phi - 0,256 \sin^4 \Phi) \text{ mgal} \dots\dots\dots (15)$$

Dari rumus-rumus di atas terlihat bahwa lintang tempat akan berpengaruh pada besarnya nilai konversi. Atas dasar argumen lintang dapat dihitung besarnya masing-masing nilai konversi. Hitungan dilakukan dengan program LOTUS 123 untuk daerah antara ekuator sampai kutub pada interval lintang 5 derajat. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel 1. dan tabel 2. Dari tabel 1 terlihat bahwa C1 besarnya berkisar 17,15 mgal diekuator dan 3,59 mgal di kutub dan nilai C2 berkisar 16,30 mgal di ekuator dan semakin kecil yaitu 2,694 mgal di kutub. Sedangkan C3 relatif kecil dan hampir konstan yaitu -0,85 mgal di ekuator dan -0,897 mgal di kutub. Ini menunjukkan bahwa antara rumus gayaberat normal pada sistem referensi geodesi tahun 1930 dengan rumus gayaberat normal pada tahun 1967 dan 1980 berbeda cukup besar. Sedangkan perbedaan rumus gayaberat normal pada sistem referensi geodesi tahun 1967 dengan 1980 kecil dan relatif konstan.

Rumus dasar konversi tabel 2 sebenarnya sama dengan pada tabel 1. Nilai pada tabel 2 dengan tabel 1 perbedaannya adalah 14,0 mgal karena berbeda datumnya. Bila akan dilakukan konversi dari data anomali tahun 1930 menjadi data anomali dengan referensi rumus gayaberat normal tahun 1967 atau 1980, untuk semua peta gayaberat (tidak tergantung skala), besarnya nilai konversi tersebut perlu

Tabel 1. Nilai konversi gayaberat normal pada datum Potsdam lama 981,274 mgal

Lintang derajat	C1 (mgal)	C2 (mgal)	C3 (mgal)
0,00	17,150	16,300	-0,850
5,00	17,046	16,194	-0,852
10,00	16,737	15,878	-0,859
15,00	16,233	15,364	-0,869
20,00	15,550	14,668	-0,882
25,00	14,708	13,812	-0,896
30,00	13,735	12,825	-0,910
35,00	12,659	11,737	-0,922
40,00	11,515	10,583	-0,931
45,00	10,336	9,399	-0,938
50,00	9,160	8,221	-0,940
55,00	8,021	7,084	-0,938
60,00	6,955	6,022	-0,933
65,00	5,992	5,067	-0,926
70,00	5,162	4,245	-0,918
75,00	4,490	3,581	-0,910
80,00	3,995	3,093	-0,903
85,00	3,692	2,794	-0,899
90,00	3,590	2,694	-0,897

Tabel 2. Nilai konversi gayaberat normal pada datum Potsdam baru 981,260 mgal

Lintang derajat	C1 (mgal)	C2 (mgal)	C3 (mgal)
0,00	3,130	2,300	-14,850
5,00	3,046	2,194	-14,852
10,00	2,737	1,878	-14,859
15,00	2,233	1,364	-14,869
20,00	1,550	0,668	-14,882
25,00	0,708	-0,188	-14,896
30,00	-0,265	-1,175	-14,910
35,00	-1,341	-2,263	-14,922
40,00	-2,485	-3,417	-14,931
45,00	-3,664	-4,601	-14,938
50,00	-4,840	-5,779	-14,940
55,00	-5,979	-6,916	-14,938
60,00	-7,045	-7,978	-14,933
65,00	-8,008	-8,933	-14,926
70,00	-8,838	-9,755	-14,918
75,00	-9,510	-10,419	-14,910
80,00	-10,005	-10,907	-14,903
85,00	-10,308	-11,206	-14,899
90,00	-10,410	-11,306	-14,897

diperhitungkan. Sebagai contoh misalnya untuk peta gaya berat regional skala 1:10000.000 yang interval konturnya biasanya 10 mgal, maka konversi tersebut harus diperhitungkan. Apalagi untuk peta gayaberat lebih detail yang skalanya lebih besar dan interval konturnya lebih rapat.

Di Indonesia sejak ditetapkannya pemakaian GRS. 1967, semua peta gayaberat seharusnya menggunakan referensi rumus gayaberat normal pada GRS. 1967, berarti peta-peta gayaberat dengan referensi rumus gayaberat normal tahun 1930 harus dikonversi menjadi peta gayaberat dengan referensi rumus gayaberat normal tahun 1967. Untuk itu ditrapkan nilai konversi C1. Untuk daerah Indonesia besarnya antara 17,15 mhal — 16,233 mgal bila berpegang pada datum Potsdam lama (lihat tabel 1) dan berkisar 3,15 mgal — 2,233 mgal bila berpegang pada datum Potsdam baru (lihat tabel 2).

Kesimpulan

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Perubahan pemakaian rumus gayaberat normal (teoritis) karena perubahan sistem referensi geodesi, tidak akan mempengaruhi nilai gayaberat ukuran atau nilai gayaberat di geoid, tetapi akan merubah nilai anomali gayaberat.
2. Bila dikehendaki nilai anomali dengan sistem referensi geodesi baru dari data anomali gayaberat dengan sistem referensi geodesi lama, tinggal ditambahkan dengan besarnya nilai konversi.
3. Nilai konversi dari satu sistem ke sistem yang lain dapat dihitung dengan mencari perbedaan rumus gaya berat normalnya.

4. Apabila akan dilakukan konversi dari peta anomali lama ke peta anomali dengan referensi baru maka besarnya konversi harus diperhitungkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adkins, J., at al, 1978, *Regional Gravity Base Station network For Indonesia*, Publikasi teknik-Seri Geofisika No. 6, Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung.
- Heiskanen, W. and Moritz, H. 1981, *Physical Geodesy*, Reprint Institute of Physical Geodesy Technical University Graz, Austria.
- Kelompok Kerja Gayaberat HAGI, 1978, *Pedoman Pengumpulan dan Penyusunan Data Gayaberat di Indonesia*. Publikasi No. 1 HAGI, Bandung.
- Moritz, H., 1980, *Geodetic Reference System 1980*, Report of Special Study Group No. 539 of IAG, presented at XVII General Assembly of IUGG, Canberra.
- Nettleton, L.L., 1976, *Gravity and Magnetism in Oil Prospecting*, Mc Graw Hill, Inc., New York, USA.
- Pick, M., Picha, J. and Vyskocil, V., 1973, *Theory of the Earth's Gravity Field*, Elsevier Sci., Publ., Co., Amsterdam.
- Rais, J., 1978, *IGSN—71*, Pertemuan Ilmiah Tahunan HAGI, 9—10 Oktober 1978, Yogyakarta.
- Vanicek, P. and Krakiwsky, E., 1982, *Geodesy : The Concepts*, North Holland Publishing Co., Amsterdam.